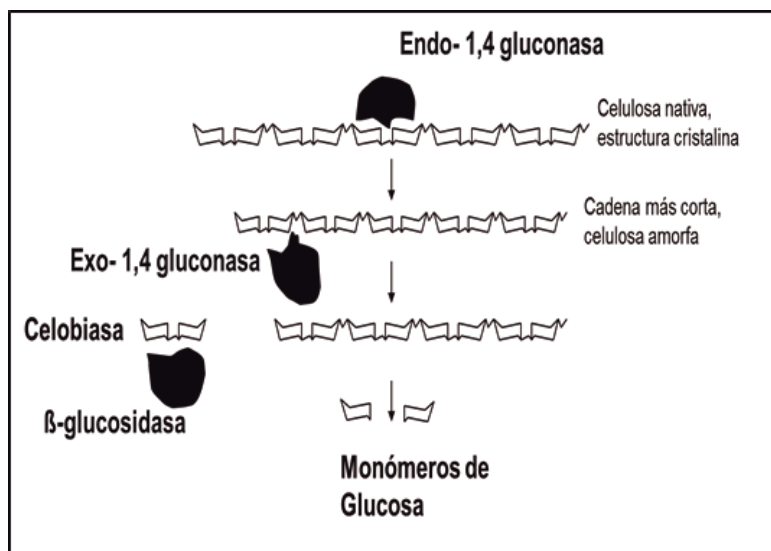


# Aceites vegetales, hacia una producción sostenible

GELZA ALBA PONS<sup>1</sup>

## Resumen

Los procesos productivos empleados actualmente para la obtención de aceites vegetales implican fuertes agresiones al medioambiente, fundamentalmente dadas por la emisión de solventes orgánicos a la atmósfera, siendo el más empleado en esta industria el hexano, reconocido contaminante atmosférico. El objetivo de este artículo es analizar la alternativa que brinda la tecnología de Extracción Acuosa del Aceite Asistida por Enzimas como una posible solución al problema medioambiental descrito. Para dar cumplimiento a este propósito, se caracterizan de forma general los aceites vegetales desde el punto de vista químico y nutricional, así como la industria productora, las materias primas empleadas, las tendencias de mercado y el problema medioambiental que significa. Así mismo, se describe el método de extracción enzimática desde las experiencias que existen a escala de laboratorio, las materias primas fundamentales, las variables del proceso identificadas y los resultados de calidad obtenidos, así como también



<sup>(1)</sup> CONAS. 22 # 318 e/3ª y 5ª. Playa. La Habana, Cuba. CP. 11604.

Fecha de recepción: 11/11/2014 – Fecha de aceptación: 30/06/2015

las ventajas y desventajas que este entraña. El análisis realizado permite concluir que el proceso es tecnológicamente viable, aun cuando implica un camino por recorrer en la búsqueda de rentabilidad.

**Palabras clave:** aceite vegetal, extracción enzimática, hexano, medioambiente, industria aceitera, enzima, celulosa.

### Abstract

The productive processes used at the moment for the obtaining of vegetable oils imply strong aggressions to the environment, fundamentally given by the atmospheric emission of organic solvents, being the more employed in this industry the Hexane, grateful atmospheric pollutant. The objective of this article is to analyze the alternative that offers the technology of Enzyme-assisted Aqueous Extraction like a possible solution to the described environmental problem. To accomplish this purpose it were characterized in a general way the vegetable oils from the chemical and nutritional point of view, as well as the industry producer, raw material employed, market tendencies, environmental problem that means, and the method of enzymatic extraction is described from the experiences that exist to laboratory scale, the fundamental raw materials, identified process variables and quality results obtained, as well as the advantages and disadvantages that it involves. The carried out analysis allows to conclude that the process is technologically viable, still when it implies a road to travel in the search of profitability.

**Keywords:** oil vegetable, enzymatic extraction, hexane, environment, vegetable oil industry, enzyme, cellulase.

## 1. Introducción

Desde la antigüedad, los aceites de origen vegetal son consumidos por los seres humanos con fines muy diversos, que van desde la cosmología hasta la alimentación. Existen referencias de su empleo como combustible y con fines culinarios, por las principales civilizaciones de la edad antigua, es decir, las griegas, asirias y

egipcias. En las famosas luchas de los gladiadores romanos se conoce que los luchadores impregnaban su piel con aceites para disminuir el efecto de los golpes del oponente y facilitar la esquivas, por ser los cuerpos untuosos más resbaladizos y escurridizos. [1]

En los últimos tiempos, aproximadamente a partir de la década del sesenta, los aceites vegetales han cobrado importancia renovada, debido a que los requerimientos alimentarios de las personas comenzaron a variar en su enfoque al poner en su prisma la búsqueda de una nutrición saludable, que satisficiera las necesidades energéticas de los seres humanos sin provocar acumulaciones dañinas que conllevaran la aparición de enfermedades de alta incidencia en la actualidad, tales como la diabetes y las enfermedades cardiovasculares. Se ha demostrado que las grasas animales resultan más dañinas para la salud humana que las de origen vegetal, debido, fundamentalmente, a la presencia de colesterol en sus estructuras y al contenido de ácidos grasos saturados[2][3].

Sin embargo, los procesos productivos empleados actualmente para la obtención de aceites de semillas oleaginosas implican fuertes agresiones al medioambiente, principalmente dadas por la emisión de solventes orgánicos a la atmósfera, siendo el hexano el más empleado en esta industria, compuesto listado entre los principales contaminantes atmosféricos por entidades de reconocido prestigio en el tema como la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos [4].

El objetivo de este artículo es analizar la alternativa que brinda la tecnología de Extracción Acuosa del Aceite Asistida por Enzimas como una posible solución al problema medioambiental, cuyo uso consiste en el empleo de tecnologías basadas en la extracción por solventes orgánicos. Este problema exige, por su envergadura, una solución al menos en el mediano plazo, y para ello puede encontrarse una vía sostenible en la biotecnología blanca, específicamente en la alternativa que brinda la tecnología de Extracción Acuosa del Aceite Asistida por Enzimas. En el presente artículo se describe este método desde las experiencias que existen a escala de laboratorio, las materias primas fundamentales, las variables del proceso identificadas y los resultados de calidad obtenidos, así como también las ventajas y desventajas que entraña.

## 2. Fuentes de obtención de los aceites comestibles

En la naturaleza existen numerosas semillas oleaginosas que constituyen fuentes de obtención de aceites. La norma Codex Stan 210-1999 [5] reconoce los siguientes aceites vegetales:

**1. El aceite de maní (aceite de cacahuete)**, que se obtiene del maní (semillas de *Arachis hypogaea* L.).

**2. El aceite de babasú**, que se obtiene de la nuez del fruto de diversas variedades de la palma (*Orbignya* spp.).

**3. El aceite de coco**, que se obtiene de la nuez del coco (*Cocos nucifera* L.).

**4. El aceite de semilla de algodón**, que se obtiene de las semillas de diversas especies cultivadas de *Gossypium* spp.

**5. El aceite de pepitas de uva**, que se obtiene de las pepitas de uva (*Vitis vinifera* L.).

**6. El aceite de maíz**, que se obtiene del germen de maíz (embriones de *Zea mays* L.).

**7. El aceite de semilla de mostaza**, que se obtiene de las semillas de mostaza blanca (*Sinapis alba* L. o *Brassica hirta* Moench), de mostaza parda y amarilla (*Brassica juncea* L., Czernajew y Cossen) y de mostaza negra (*Brassica nigra* L., Koch).

**8. El aceite de almendra de palma**, que se obtiene de la almendra del fruto de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*).

**9. El aceite de palma**, que se obtiene del mesocarpio carnoso del fruto de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*).

**10. El aceite de colza** (aceite de semilla de colza, aceite de semilla de nabina o navilla), que se obtiene de las semillas de las especies *Brassica napus* L., *Brassica campestris* L., *Brassica juncea* L. y *Brassica tournefortii* Gouan.

**11. El aceite de salvado de arroz** (aceite de arroz), que es derivado del salvado de arroz (*Oryza sativa* L.).

**12. El aceite de cártamo** (aceite de alazor, aceite de semillas de cártamo), que se obtiene de las semillas de cártamo (semillas de *Carthamus tinctorius* L.).

**13. El aceite de cártamo de alto contenido de ácido oleico** (aceite de alazor, aceite de semillas de cártamo), que se obtiene de las semillas de variedades de cártamo con un alto contenido de ácido oleico (semillas de *Carthamus tinctorius* L.).

**14. El aceite de sésamo** (aceite de semillas de sésamo, aceite de ajonjolí), que se obtiene de las semillas de sésamo (semillas de *Sesamum indicum* L.).

**15. El aceite de soja** (aceite de semilla de soja), que se obtiene de las semillas de soja (semillas de *Glycine max*, L., Merr.).

**16. El aceite de girasol** (aceite de semillas de girasol), que se obtiene de las semillas de girasol (semillas de *Helianthus annuus* L.).

Estas son las semillas oleaginosas más conocidas y comercializadas. No obstante, esta no es una relación exhaustiva, pues en este trabajo se hará también referencia a resultados experimentales obtenidos en la extracción de aceite a partir de las semillas de la moringa oleífera lam, considerando que es una especie de fácil aclimatación y cultivo. Dado que procede de las regiones del sur de Asia, donde las fluctuaciones de temperatura son comunes, crece bien en suelos con buen drenaje. Es común encontrar la planta en las cercanías de los ríos, y, aunque procede de climas secos, se adapta bien a zonas con abundantes precipitaciones [6]. El desarrollo de esta planta se está fomentando en Cuba, teniendo en cuenta el alto valor nutritivo de varias partes de la planta, y debe también considerarse el alto contenido de aceite en sus semillas.

Las semillas del resedá, como también se le conoce, contienen entre 19 y 47 % de aceite [7] [8] [9] [10]. Este es similar al aceite de oliva y es rico en ácidos palmítico, esteárico, bémico y oleico [11] [12]. Conocido comercialmente como 'aceite de ben', se usa para consumo humano, iluminación y en la fabricación de cosméticos y jabones [10] [13] [14] [15]. Este aceite es muy apreciado en perfumería por su capacidad de absorber y retener olores, y por los relojeros como lubricante [15]. La costra del aceite se usa como abono [13].

## 3. Mercado de los aceites vegetales

Los aceites vegetales son ampliamente comercializados en el mercado internacional. La Tabla 1 muestra su tendencia mundial, teniendo en cuenta su procedencia vegetal, desde el punto de vista de productores, de acuerdo con los datos recolectados por la Foreign Agricultural Service USDA [16]. En cada año el período de análisis comienza el primero de octubre y va hasta el 30 de septiembre del año siguiente.

Como puede observarse, los aceites de palma, soya, colza y girasol son los de mayor participación en el mercado mundial.

**Tabla 1.** Principales aceites comestibles. Producción mundial

Producción	2006/ 07 (MT)	2007/ 08 (MT)	2008/ 09 (MT)	2009/ 10 (MT)	Nov. 2010/ 11 (MT)	Dic. 2010/ 11 (MT)
Aceite coco	3.22	3.53	3.53	3.62	3.67	3.67
Aceite semilla alg.	5.13	5.22	4.81	4.66	4.94	4.97
Aceite oliva	2.91	2.84	2.95	2.91	2.94	2.94
Aceite palma	37.33	41.02	43.94	44.82	47.91	47.91
Aceite almendra de palma	4.43	4.86	5.15	5.30	5.63	5.63
Aceite maní	4.53	4.91	5.00	4.67	4.91	4.91
Aceite colza	17.13	18.43	20.49	22.32	22.28	22.65
Aceite soya	36.45	37.71	35.74	38.75	41.70	41.96
Aceite giras	10.70	10.03	12.00	11.61	11.08	11.27
Total	121.8 2	128.5 5	133.6 0	138.6 5	145.0 7	145.9 1

**Fuente:** Foreign Agricultural Service USDA. Office of Global Analysis. Diciembre, 2010.

#### 4. Procesos tradicionales de obtención de los aceites vegetales

En las semillas oleaginosas el aceite se encuentra contenido en vacuolas intracelulares cuyas paredes están formadas por polisacáridos del tipo celulósico. En el tejido celular también se encuentra presente la pectina, responsable de la coherencia e integridad de la estructura, además de otras proteínas, siendo la presencia de estas sustancias variable al depender del tipo de planta de que se trate [17] [18]. El aceite vegetal se encuentra unido a estas macromoléculas y los procesos convencionales de extracción se basan en la extrusión de la semilla o fruto oleaginoso que lo contiene.

Los procesos de obtención de grasas vegetales de forma tradicional se clasifican en mecánicos, químicos o aquellos que incluyen una combinación de los dos. De forma general, incluyen las siguientes etapas: limpieza para eliminar materias extrañas, secado para disminuir la humedad de la semilla, pelado de la semilla, tratamiento térmico para facilitar la extracción del aceite, extracción por prensado (métodos mecánicos) y/o por solvente (métodos químicos) del aceite contenido en las semillas. La separación del aceite de la mezcla resultante (conocida

como miscela), compuesta además por solventes e impurezas, se realiza a través de posteriores procesos de evaporación y condensación del solvente, con vista a su reutilización posterior. La refinación, destilación y desodorización del aceite crudo completan este proceso, haciendo el producto apto para el consumo humano. Como residuo del proceso de extracción queda una torta (tostado) con alto contenido proteico, que es también desolventizada y empleada en la alimentación animal.

Las principales desventajas de esta tecnología están relacionadas con: el alto costo de los solventes orgánicos (puede ser empleado el benceno, reconocido carcinogénico sumamente tóxico; aunque de preferencia se emplea el n-hexano, debido a su solubilidad, bajos costos y facilidad de recuperación); la contaminación resultante de la emisión a la atmósfera de vapores de estos solventes, con relación a lo cual existen estrictas regulaciones medioambientales; el gasto energético de los procesos de prensado y cocción, donde deben desarrollarse altas fuerzas y temperaturas; la gran cantidad de impurezas sólidas en la mezcla resultante del prensado; la degradación de vitaminas y sustancias activas presentes en la materia prima; y con la baja eficiencia de muchos de estos procesos, que no son capaces de extraer todo el aceite en el interior de las vacuolas [19]

#### 5. Contaminación atmosférica y producción retenido de aceite vegetal

La contaminación resultante de la producción de aceite a través de métodos tradicionales como el descrito anteriormente, que implican el uso de solventes orgánicos en la etapa de extracción y, por ende, su expulsión a la atmósfera en concentraciones más o menos elevadas —de acuerdo con las medidas tomadas para ello por los productores—, constituye en estos momentos una de las mayores desventajas de estas tecnologías, debido fundamentalmente a tres razones de índole, principalmente, social y económica; ellas son: lo nocivo que resultan estos compuestos para la salud humana y el medioambiente; los peligros que entraña su uso desde el punto de vista de seguridad para la industria y las personas que en ella laboran, así como las que residen o trabajan en áreas aledañas, pues son sustancias extremadamente volátiles y fácilmente inflamables; la necesidad



de que el proceso tecnológico diseñado incluya las técnicas y el equipamiento necesario para la parcial recuperación del solvente empleado, hecho que encarece los costos de producción de la industria aceitera [20][21].

El Midwest Research Institute de Estados Unidos, a solicitud de la EPA, realizó investigaciones sobre este tema, recogidas en el documento *Emission Factor Documentation for AP-42* (Section 9.11.1. *Vegetable Oil Processing*) [4], para cuya elaboración se analizaron 18 informes de pruebas de emisión y análisis ingenieriles de procesos de obtención de aceite vegetal. Diez de estas referencias pertenecen a pruebas conducidas por la Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS), siguiendo una metodología diseñada por la EPA para la cuantificación de emisiones de hexano, en las siguientes plantas: The Cargill Inc. (East Plant), Cedar Rapids, Iowa; AGRI Industries, Mason City, Iowa; The Cargill Inc., Fayetteville, North Carolina; Central Soya Inc., Delphos, Ohio; A. E. Staley Manufacturing Company, Des Moines, Iowa; MFA Soybeans, Mexico, Missouri; The Cargill Inc. *vegetable oil extraction plant* en Sidney, Ohio; The Ralston Purina, Memphis, Tennessee; The Ralston Purina *vegetable oil extraction plant* en Bloomington, Illinois. Todas las plantas realizaban procesos de extracción a partir del frijol de soya. Las muestras para análisis se tomaron en corridas dobles, cada una hora, durante un período de siete horas, y se analizaron empleando técnicas de extracción por volatilización y posterior análisis de cromatografía gaseosa. La toma de muestra se realizó en puntos comunes de salida de gases, tales como las salidas del desolventizador, del secador de la torta y del enfriador; además se hicieron pruebas de contenido de solvente en el aceite y en las harinas comestibles.

Estas pruebas arrojaron como resultado que las emisiones de solventes en una planta procesadora de aceite pueden proceder de diversas fuentes; por ejemplo, el transporte y el almacenamiento del hexano son actividades donde existe un riesgo potencial de emisión de solvente, así como también lo son las posibles fugas procedentes de tuberías y tanques. Además de ello, es inherente a esta tecnología la existencia de trazas de solvente en el aceite crudo vegetal del orden de 0,2 % por volumen de aceite, aun cuando la recuperación del solvente

en los destiladores y evaporadores funcione de manera satisfactoria.

Los respiraderos son también otra fuente de emisiones. En estas plantas es frecuente que existan tres respiraderos a través de los cuales pueden producirse emisiones de solventes, el principal en la sección de recuperación de solventes, el del secado de la torta y el de la sección de enfriamiento de la misma. El primero de ellos recibe gases del extractor de aceite, de los evaporadores, destiladores, y del tostador-desolventizador; el secado y enfriamiento de la torta ventilan hacia la atmósfera. El solvente retenido en la torta, luego del proceso de tostado-desolventización, es una fuente de emisión fugitiva; la volatilización de este hexano puede ocurrir en la planta procesadora de aceite o durante el procesamiento de la torta proteica.

En nueve de las plantas analizadas se encontró que la concentración promedio del hexano, desde que la torta deja el secador hasta la salida del enfriador, es de alrededor de un 21 %. Entre la salida del enfriador y el molino que la convierte en harina se determinó la existencia de una pérdida de solvente de un 52 %. Con relación a la harina destinada al consumo humano, se espera que el hexano contenido en la misma se volatilice durante su uso culinario [4].

El hexano se encuentra listado como un contaminante peligroso del aire por la EPA; de ahí el hecho de que la actividad de las plantas productoras de aceite vegetal resulte particularmente nociva para el medioambiente. Además de este solvente orgánico, se adiciona el hecho de que, también según estudios del Midwest Research Institute, se han detectado trazas de metales pesados en plantas procesadoras de semillas de algodón para la extracción de aceite. Los metales identificados han sido cadmio, cromo, cobre, plomo, manganeso, níquel, zinc y mercurio. Estas emisiones parecen ser el resultado de la presencia de estos metales en el suelo donde se cultivaron las plantas productoras de las semillas oleaginosas, por lo que pueden también producirse en las plantas que elaboran otros aceites vegetales [4].

## 6. Obtención de aceite comestible por vía enzimática

En la búsqueda de tecnologías más seguras, eficientes y eficaces, se han desarrollado en los últimos veinte años numerosas investigaciones

encaminadas a minimizar los costos de estas producciones, así como también sus riesgos; entre ellas podemos mencionar : la extracción asistida con ultrasonido [22], la extracción asistida con microondas [23], la extracción con solvente acelerado [23] [24] y la extracción con fluidos supercríticos [25] [26], con el objeto de acortar el tiempo de extracción, disminuir el consumo de solvente, aumentar el rendimiento de extracción y mejorar la calidad del extracto.

La hidrólisis enzimática es una de las técnicas alternativas surgidas como posible solución a los problemas mencionados. Se basa en la biodegradación de la pared celular de las semillas oleaginosas, con el empleo de enzimas como una vía para facilitar la extracción del aceite intracelular, disminuyendo así las elevadas temperaturas necesarias para la cocción inicial de las semillas y haciendo posible la eliminación de la etapa de prensado mecánico o minimizando las presiones ejercidas, y, de forma general, formulando una propuesta que implica un proceso extractivo con mejores rendimientos, menos agresivo desde el punto de vista técnico y medioambiental (ya que en el caso de la extracción acuosa se propone el empleo de agua como solvente para la separación del aceite de la mezcla), con menores costos y requerimientos energéticos asociados [19] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34].

### 6.1 Procesos de extracción acuosa asistidos por enzimas

Las fibras lignocelulósicas se componen de tres fracciones principales: celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es un polisacárido que actúa como estructura de sostén en los vegetales. Tiene una estructura de cadenas lineales compuesta por unidades de glucopiranosas, combinadas entre sí por enlaces beta-1,4 glucosídicos. Su hidrólisis parcial produce el disacárido celobiosa, y la total tiene como resultado monómeros de glucosa.

Las gruesas paredes celulares que existen en las semillas oleaginosas están formadas por las mencionadas fibras lignocelulósicas; además de ello, el aceite en su interior se encuentra asociado a carbohidrato y proteínas, de los cuales también resulta necesario separarlo. La hidrólisis enzimática, usando mezclas de pectinasas, proteasas, celulasas y hemicelulasas,

facilita la ruptura de las paredes celulares, así como también la del complejo lipoproteínas y lipopolisacáridos; todo ello propicia la liberación de un aceite extra en comparación con el obtenido por los métodos convencionales [35].

El proceso de Extracción Acuosa del Aceite Asistido con Enzimas implica, del mismo modo que los convencionales, el pelado de las semillas y el tratamiento térmico de las mismas, a una temperatura alrededor de los 100 °C; luego de ello la adición de agua, cuidando la tarea de establecer una adecuada relación agua/semilla. Esta mezcla deberá hervir por espacio de 5min, para luego enfriarse hasta temperatura ambiente; seguidamente, deberá procederse a la adición de la mezcla enzimática seleccionada y a la incubación de la mezcla agitada durante un período que puede oscilar entre una y tres horas. Finalmente, la mezcla debe ser centrifugada a 30 °C y 7000rpm durante 15 min, para obtener un producto separado en dos fases, un sobrenadante oleaginoso y una fase sólida con alto contenido proteico, que será secada y puede ser empleada como alimento animal.

La mezcla enzimática a seleccionar dependerá del tipo de semilla a tratar. Las celulasas han demostrado ser efectivas en un amplio espectro de ellas. El acápite 6.3 de este artículo profundiza al respecto.

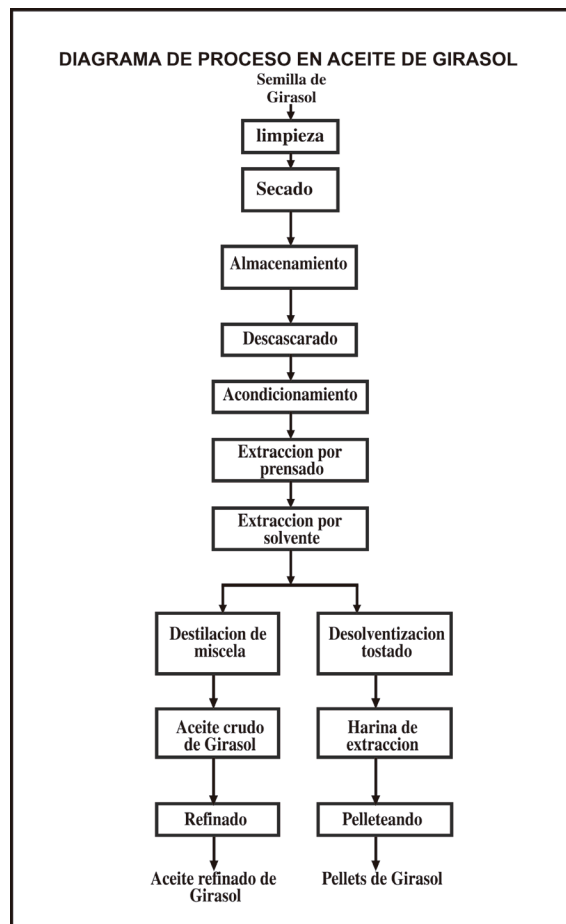
Durante el proceso deberán cuidarse las siguientes variables: temperatura, concentración de enzimas, pH, relación agua/semilla a tratar, tiempo de hidrólisis, puesto que resultan determinantes para obtener rendimientos finales satisfactorios.

De acuerdo con los resultados experimentales de varios autores, se considera que estos procesos tienen sus mayores rendimientos a temperaturas entre 40 y 50 °C, teniendo en cuenta que las enzimas muestran su mayor actividad a altas temperaturas, pero que un aumento considerable de las mismas origina la desnaturalización de las proteínas [27][29].

Con relación al pH, la literatura reporta como adecuados valores entre 4 y 6; altos valores de pH pueden aumentar la viscosidad de la mezcla debido a la saponificación de las proteínas. La relación agua-semilla reporta los mayores rendimientos en el rango 6:1- 8:1. Las altas diluciones conducen a la formación de emulsiones estables; sin embargo, este fac-

tor está muy relacionado con el tipo de aceite vegetal a extraer. Los máximos recuperados de aceite se han obtenido con tiempos de hidrólisis entre 1,5 y 2,5h, pues, luego de este tiempo, los rendimientos comienzan a descender. En cuanto a las concentraciones de las mezclas enzimáticas, los mejores rendimientos se obtienen con valores entre 1 % y 2,5 % [35].

**Figura 1.** Muestra el diagrama de flujo de un proceso de este tipo



**Fuente:** diagrama de flujo de la Extracción Acuosa de Aceite Asistida con Enzimas.

## 6.2 Rendimiento y calidad del aceite obtenido por vía enzimática

Numerosos autores han reportado incrementos en los rendimientos de los procesos de extracción, a partir del uso de mezclas enzimáticas en los mismos. Datos al respecto se muestran en la Tabla 2. Las actividades enzimáticas principales de las mezclas están dadas por las enzimas que en ellas participan, las cuales pueden actuar de forma combinada o de manera individual (actividad múltiple). La

sección iii. La Figura 6 compara los resultados de CFD, ya sea con datos ultrasónicos de la fracción de vacío (condición 5 y 6) o con los cálculos de la correlación de Lockhart y Martinelli (1949).

**Tabla 2.** Incremento del rendimiento con relación a procesos convencionales (presión y/o disolventes)

Semilla	Actividad principal	Incremento*	Referencia
Colza	Múltiple	12.53	Sosulski et al. (1988) [28]
(Canola)	Pectinasa	7.42	
Colza	Bioglucanasa	29	Zúñiga et al. (1991) [29]
Girasol	Celulasa+Pectinasa	13.1p	Domínguez et al. (1996) [30]
	Actividad combinada	11.8	Domínguez et al. (1996) [30]
Soya	Celulasa no comercial	21.4 p*	Smith et al. (1993) [31]
		6.4h	
	Celulasa	10p*	Domínguez et al. (1996) [30]
		6h*	

\* Aumento del rendimiento de extracción (porcentaje de aceite total recuperado) cuando se emplean enzimas frente al proceso sin enzimas.  
 p: prensado discontinuo a 3.107 N/m<sup>2</sup> durante 20 minutos.  
 p\*: prensado discontinuo a 7.5.107 N/m<sup>2</sup> durante 5 minutos.  
 h: extracción en Soxhelt con hexano durante 4h.  
 h\*: extracción con hexano, 30 OC.

**Fuente:** Sineiro, Domínguez y Núñez [39].

Los parámetros de calidad del producto final tampoco sufren variación significativa con respecto a las tecnologías convencionales, tal como lo demuestran las investigaciones de Fakhriya y Minar [19]. La Tabla 3 refleja los resultados adicionales de un conjunto de investigaciones realizadas por Domínguez et al. [37] [40] [41]. Puede observarse que el contenido de peróxidos, de ácidos grasos libres y el número de saponificación no difieren significativamente de los valores de la muestra control, pues solo el contenido de fosfolípidos, en el caso de la semilla de soya, muestra una diferencia de importancia con relación a los valores obtenidos para el producto extraído con hexano.

**Tabla 3.** Comparación del comportamiento de los parámetros de calidad para diferentes semillas oleaginosas

Semilla/ enzima	Cond. de Tto.	Extracc	Peró xidos (meq/ kg)	A.G.L/ (%)	Fosfo- lípidos	Sapo- nif	Ref.
<b>GIRASOL</b>							
Cotrol	50/90/ 0/2	Centrif	5.27	0.79	8.89	186	[33]
Celluclast +Pectinex	50/90/ 2/2	Centrif	5.27*	0.82	7.31	185	[33]
Multie-fect	50/90/ 2/2	Centrif	5.06	0.86	8.26	186	[33]
Control	50/25/ 0/6	Prensa discont	4.5	1.2	13.8	186	[30]
Celluclast +Pectinex	50/25/ 3/6	Prensa discont	4.3	1.4	16.8	187	[30]
Multie-fect	50/25/ 3/6	Prensa discon	4.1	1.3	14.3	185	[30]
<b>SOYA</b>							
Control	50/20/ 0.05/4	Hexan	3.89	0.59	44	190	[34]
Celluclast	50/20/ 0.1/4	Hexan	3.43	0.82	151	187	[34]

Fuente: Sineiro, Domínguez y Núñez [39].

La Tabla 4 permite comprobar que la extracción enzimática no afecta el contenido de ácidos grasos. En esta se muestran los resultados obtenidos por Sitohy et al. [18] en la prueba de seis enzimas para el proceso de extracción, en el caso específico del aceite de girasol. Los resultados se comparan con los obtenidos a partir de la extracción con hexano.

**Tabla 4.** Ácidos grasos en aceite de girasol obtenido por vía enzimática comparado con el extraído con hexano

Ác gras.	n- hexano	Celu- lusa	He- mice- lulasa	Protei- nasa animal	Protei- nasa ácida	Pecti- nasa	Pec- tinex
Caproico	t*	0	T	0	0	T	t
Caprílico	0.71	0.69	0.76	0.86	0.91	0.84	0.82
Caprílico	0.3	0.42	0.38	0.42	0.55	0.41	0.45
Láurico	2.81	2.91	2.88	1.54	1.66	2.81	2.78
Mirístico	0.09	0.12	0.16	0.81	0.76	t	t
Palmitico	3.08	3.1	3.09	4.11	3.72	3.72	3.85
Esteárico	10.23	11.08	11.01	11.32	11.57	11.71	11.82
Oleico	44.12	43.06	42.91	44.04	44.7	49.12	50.11
Linoléico	37.11	38.01	37.91	35.07	35.22	29.97	29.18
Saturados	18.77	18.93	19.18	20.89	20.08	20.91	20.71
Insatura- dos	81.23	81.07	80.82	79.11	79.92	79.09	79.29

t\* - Trazas.

Fuente: Sitohy et al. (1993) [18].

El aceite de moringa muestra también buenos resultados en cuanto a contenido y propiedades fisicoquímicas del producto extraído con distintos tipos de mezclas enzimáticas. La Tabla 5 permite observar los resultados en este sentido, obtenidos en los estudios realizados por Latif [34].

**Tabla 5.** Comparación de la composición aproximada del aceite de semillas de moringa extraído por vía acuosa asistida con enzimas

Parám (%)	Extr con solv	Extracción asistida con enzimas					Control
		Natuzy- me	Ken- zyme	Fee- dzyme	Protex 7L	Visco- zyme L	
Cont de aceite	32.4 ±0.8 <sup>a</sup>	21.3 ±0.7 <sup>bc</sup>	22.1 ±0.6 <sup>b</sup>	21.8 ±0.8 <sup>ac</sup>	20.9 ±0.7 <sup>c</sup>	22.5 ±0.7 <sup>bc</sup>	19.3 ±0.86 <sup>bc</sup>
Cont prot.	32.4 ±1.0 <sup>a</sup>	34.2 ±1.6 <sup>b</sup>	34.8 ±0.7 <sup>a</sup>	33.7 ±0.7 <sup>c</sup>	34.3 ±0.9 <sup>b</sup>	33.8 ±0.8 <sup>c</sup>	34.1 ±1.5 <sup>b</sup>
Cont fibra	4.1 ±0.2 <sup>a</sup>	4.1 ±0.5 <sup>b</sup>	4.0 ±0.2 <sup>ab</sup>	4.1 ±0.3 <sup>b</sup>	4.1 ±0.2 <sup>a</sup>	4.0 ±0.1 <sup>b</sup>	4.1 ±0.2 <sup>a</sup>
Ceni- zas	4.2 ±0.1 <sup>a</sup>	4.1 ±0.3 <sup>ab</sup>	4.1 ±0.5 <sup>b</sup>	4.1 ±0.2 <sup>ab</sup>	4.1 ±0.3 <sup>b</sup>	4.2 ±0.2 <sup>a</sup>	4.2 ±0.4 <sup>a</sup>

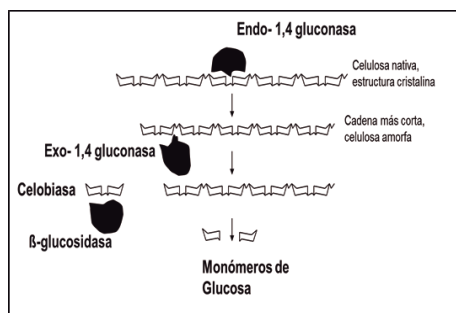
Fuente: Latif (2009) [34].

Cada valor corresponde a la media  $\pm$  desviación estándar, calculada como porcentaje en peso de semillas en base seca, para tres muestras de semillas de moringa y por cada enzima empleada. Las medias en la misma fila con el mismo superíndice no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ).

### 6. 3 Enzimas e hidrólisis enzimática

Las celulasas, pectinasas o mezcla de ambas, son los preparados enzimáticos de elección para el desarrollo de estas tecnologías. Las celulasas son complejos de tres enzimas que actúan de forma sinérgica en los procesos de degradación de los compuestos celulósicos. La presencia de endoglucanasas en este complejo enzimático propicia la descomposición de los enlaces internos  $\beta$ -1,4 y así altera la estructura cristalina de la celulosa y deja expuestas las cadenas polisacáridas de celulosa individual. La exoglucanasa divide la estructura en 2 o 4 monómeros de glucosa a partir de los extremos de las cadenas ya expuestas, producidas por la endoglucanasa, originando tetrasacáridos o disacáridos como la celobiosa. Finalmente, la celobiasa hidroliza estos productos, dando como resultado los monosacáridos individuales de glucosa. El esquema de esta transformación se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Hidrólisis de la celulosa a través del sistema enzimático celulasa

Fuente: Wright [42].

## 6. 4 Celulasas

La celulasa es un sistema enzimático compuesto por al menos tres enzimas que actúan de forma sinérgica para catalizar la transformación (hidrólisis enzimática) de la celulosa en glucosa. Está presente en el tracto digestivo de los rumiantes, no así en el de los seres humanos; este hecho condiciona su incapacidad para obtener energía a partir de la degradación de la celulosa contenida en las plantas. Las celulasas atacan la cadena polimérica de azúcar de las fracciones de celulosa y hemicelulosa, liberando azúcares monoméricos para la fermentación.

Algunos hongos filamentosos son capaces de expresar este sistema enzimático en presencia de sustratos celulósicos que inducen su formación; por ejemplo: *Trichoderma sp.* (*T. viride*, *T. reesei*, *T. longibrachiatum*), *Penicillium pinophilum*, *Sporotrichum pulverulentum*, *Fusarium solani*, *Talaromyces emersonii* y *Trichoderma koningii*. Entre ellas la *Trichoderma sp.* y el *Aspergillus niger* son las más conocidas. La *Trichoderma sp.* es un microorganismo fúngico que se encuentra en los suelos cubanos de forma natural y abundante y está referido como uno de los mayores productores de celulasas [43] [44] [45].

Existe una alta disponibilidad de este tipo de enzimas y sus mezclas en el mercado internacional son comercializadas por empresas especializadas en su producción, tales como Novozyme, Genencor, AB Enzymes y Ajinomoto Corporate Services LLC. Estos productos tienen altos precios en el mercado debido a la complejidad de sus producciones; sin embargo, las cantidades de enzimas usadas en estas tecnologías oscilan entre un 1-2 % de las semillas a tratar, según las experiencias documentadas por Latif [34]. El elevado costo de las mezclas enzimáticas constituye, según Wang y Shin [46], uno de los principales inconvenientes que han impedido la difusión de estas tecnologías en la actualidad. La Tabla 6 muestra, de acuerdo con los estudios de Latif [34], una relación de las enzimas que han demostrado efectividad en la extracción de

aceite vegetal, su principal actividad enzimática y sus productores.

**Tabla 6.** Enzimas que han demostrado efectividad en la extracción de aceite vegetal

Enzima	Principales actividades	Suministradores
Protex 7L	Proteasa	Genencor (Rochester, NY, USA)
Multifect Pectinase FE	Complejo pectinasa, celulasa y hemicelulasa	Genencor (Rochester, NY, USA)
Multifect CX 13L	Cellulasa, hemicelulasa, beta-glucanasa y arabinoxilanasas	Novozymes, Bagsvaerd, Dinamarca
Kemzyme	Alfa-amilasa, beta-glucanasa, complejo celulasa, complejo hemicelulasa, proteasa y xilanasas	Kemin Europa N.V., Bélgica
Kemzyme	Celulasa, xilanasas, fitasa, alfa-amilasa, pectinasa	Bioproton Pty Ltd, Australia
Feedzyme	Xilanasas, beta-glucanasas, celulasa y hemicelulasa	Agild, Inglaterra
Phytezyme	Fitasa, fosfatasa ácida, amilasa, xilanasas, beta-glucanasa, celulasa, proteasa	B&G, Co. Ltd, Seúl, Corea
Allzyme	Fitasa, proteasa, celulasa, beta-glucanasa, pectinasa	Alltech, Nicholasville, Kentucky KY, USA.

Fuente: Latif (2009) [34].

## 7. Conclusiones

Los aceites comestibles de origen vegetal constituyen una importante opción desde el punto de vista nutricional, debido a su contenido nulo de colesterol, aunque el exceso en la dieta implica riesgos de obesidad y accidentes del tipo vascular encefálico causados por la formación de placas ateromatosas que disminuyen la luz arterial y dificultan el flujo sanguíneo. Por esto, su presencia en el cuadro alimenticio de los seres humanos es importante como fuente de energía, pero su ingestión debe cuidarse de acuerdo con los requerimientos de los organismos, que varían en las diferentes etapas de la vida.

Los aceites vegetales se obtienen a partir del procesamiento de las semillas de diferentes plantas, conocidas como oleaginosas; entre estas semillas se destacan las de maní, palma, colza, girasol y soya. La semilla de moringa tiene también un alto contenido de aceite, aun cuando no ha sido una fuente tradicionalmente explotada.

La producción de estos aceites en el mercado internacional es alta, lo cual indica que su demanda debe también serlo. Este mercado en los últimos años analizados ha tenido un volumen de alrededor de 145 millones de toneladas métricas.

Los aceites de palma y de soya son los de mayor producción internacionalmente.

Los procesos de obtención tradicionales se basan en la cocción, extrusión de las semillas y posterior extracción con solventes del aceite contenido en ellas. Estos métodos de obtención son caros, implican daños medioambientales como resultado del empleo de solventes orgánicos nocivos a la atmósfera y, además de que generalmente existen impurezas en la solución resultante, implican la degradación de vitaminas y otras sustancias activas en el aceite, y no siempre tienen los resultados adecuados en cuanto a rendimiento del producto final.

El hexano es uno de los solventes empleados preferentemente en los procesos industriales convencionales. Este es un producto altamente tóxico para los seres humanos, responsable fundamentalmente de daños neurológicos a largo plazo, extremadamente volátil, y que conlleva también peligros de incendio y explosión.

La Extracción Acuosa Asistida con Enzimas es una de las técnicas alternativas que surgen como posible solución a los problemas. Esta se basa en la biodegradación de la pared celular de las semillas oleaginosas, con el empleo de enzimas para facilitar el proceso de extracción de aceite, y luego una posterior separación de las fases oleosa y acuosa mediante centrifugación.

Las variables de proceso: pH, relación agua/semillas, temperatura, concentración de enzimas y tiempo de hidrólisis, deben ser controladas en este tipo de producciones.

Los parámetros de calidad no muestran variaciones significativas al emplear este método; con excepción del contenido de fosfolípidos, los rendimientos del producto final se incrementan.

Las celulasas, pectinasas o mezcla de ambas, son los preparados enzimáticos de elección para el desarrollo de estas tecnologías. Las primeras son complejos de tres enzimas que actúan de forma sinérgica en los procesos de degradación de los compuestos celulósicos.

Las enzimas y mezclas enzimáticas son producidas por varias compañías en el mercado internacional, fundamentalmente de origen europeo y norteamericano. Su elevado costo constituye la principal desventaja de esta tecnología. ●

## Referencias

- [1] Valenzuela, A. & Morgado, N. (2005). Las grasas y aceites en la nutrición humana: algo de su historia. *Rev. Chilena Nutr.* 32, 2.
- [2] Alimentación sana. (s. f.). *Las Grasas que Comemos*. Recuperado el 15 de noviembre de 2014, de <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/grasas2.htm>.
- [3] Organización de las Naciones Unidas para la

Agricultura y la Alimentación (FAO). (s. f.). *Grasas y aceites en la nutrición humana*. Recuperado el 15 de noviembre de 2014, de <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s00.htm#Contents>.

[4] Midwest Research Institute. (1995). *Emission Factor Documentation for AP-42*. Section 9.11.1. Vegetable Oil Processing. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group. Cary, NC, Midwest Research Institute

[5] Norma Codex Stan 210-1999.

[6] Parrotta, J. A. (1993). *Moringa oleifera Lam. Resedá, horseradish tree. SO-ITF-SM-61*. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. p. 6

[7] Ahmad, M. B., Rauf, A. & Osman, S. M. (1989). Physiochemical analysis of seven seed oils. *Journal of the Oil Technologists Association of India* 21, 3, 46 - 47.

[8] Ibrahim, S. S., Ismail, M. & Samuel, G. (1974). Benseeds: a potential oil source. *Agricultural Research Review* 52, 9, 47 - 50.

[9] Khan, F. W., Gul, P. & Malik, M. N. (1975). Chemical composition of oil from *Moringa oleifera*. *Pakistan Journal of Forestry* 25, 2, 100 - 102.

[10] Szolnoki, T. W. (1985). Food and fruit trees of the Gambia. Hamburg, Germany. *Bundesforschungsanstalt für Forstund Holzwirtschaft* 132.

[11] Nautiyal, B., Venhataraman P. & Moringa, K. G. (1987). (drumstick) — an ideal tree for social forestry. 1: Growing conditions and uses. *Myforest* 23, 1, 53 - 58.

[12] Verma, S. C., Banerji, R., Misra, G. & Nigam, S. K. (1976). Nutritional value of *Moringa*. *Current Science* 45, 21, 769 - 770.

[14] Dastur, J. F. (1964). Useful plants of India and Pakistan. Bombay: D. B. Taraporevala Sons and Co. 185.

[15] Delaveau, P. & Boiteau, P. (1980). Huiles a intérêt pharmacologique, cosmetologique et dietetique. 4: huiles de *Moringa oleifera* Lamk. et de *M. drouhardii* Jumelle. *Plantes Medicinales et Phytotherapie* 14, 1, 29 - 33.

[16] Ramachandran, C., Peter, K. V. & Gopalakrishnan, P. K. (1980). Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany* 34, 3, 76 - 283.

[17] Foreign Agricultural Service Usda. (December, 2010). Office of Global Analysis.

[18] Mcglone, O. G., Canales, A. L. & Carter, J. V. (1986). Coconut oil extraction by a new enzymatic process. *J. Food Sci.* 51, 695 - 697.

[19] Sitohy, M. Z., Badr, E. H. & Perifanova-Nemska, K. T. S. (1993). Characterization of enzymatically extracted sunflower seed oil as well as

the protein residues. *Grasas y Aceites* 44, 345 - 347.

[20] Fakhriya, S. T. & Minar, M. H. (2007). Pre-treatment of cottonseed flakes with proteases and an amylase for higher oil yields. *Grasas y Aceites* 58, 297 - 306.

[21] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (s. f.). *Resumen de Salud Pública n-Hexano (n-Hexane)*. Recuperado el 15 de noviembre de 2014, de [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs113.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs113.pdf).

[22] Vinatoru, M. (2001). An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics Sonochemistry* 8, 303 - 313.

[23] Kaufmann, B. & Christen, P. (2002). Recent extraction techniques for natural products: Microwave-assisted extraction and pressurized solvent extraction. *Phytochem. Anal* 13, 105 - 113.

[24] Smith, R. M. (2002). Extractions with superheated water. *J. Chromatogr. A* 975, 31 - 46.

[25] Brunner, G. (2005). Supercritical fluids: technology and application to food processing. *Journal of Food Engineering* 67, 21 - 33.

[26] Rozzi, N. L. & Singh, R. K. (2002). Supercritical Fluids and the Food Industry, Comprehensive Reviews. *Food Science and Food Safety* 1, 33 - 44.

[27] Rhee, K. C., Cater, C. M. & Mattil, K. F. (1972). Simultaneous recovery of protein and oil from raw peanuts in an aqueous system. *Journal of Food Science* 37, 90 - 93.

[28] Hagenmaier, R. D. (1974). Aqueous processing of full-fat sunflower seeds; yields of oil and protein. *Journal of American Oil Chemist's Society* 51, 470 - 471.

[29] Hagenmaier, R. D., Cater, C. M. & Mattil, K. F. (1973). Aqueous processing of fresh coconuts for recovery of oil and coconut skim milk. *Journal of Food Science* 516 - 518.

[30] Lawhon, J. T., Manak, L. J., Rhee, K. C. & Lusas, E. W. (1981). Production of oil and protein food products from raw peanuts by aqueous extraction and ultrafiltration. *Journal of Food Science*

[31] Gresch, W. (1989). *Verfahren zur gewinnung von ole und fette aus naturprodukten, und anlage zur durchführung des verfahrens. C11 .B 1/10, B01 D 13/00*.

[32] Qian, J. Q., Qin, D. H., Xie, X. M. & Zhou, W. W. (2010). Study on enzyme-assisted aqueous extraction of oil from soybean. *Journal of Scientific and Industrial Research* 69, 860 - 865.

[33] De Moura, J. M., Campbell, K., Mahfuz, A., Jung, S., Glatz, C. E. & Johnson L.A. (2008). Enzyme-assisted aqueous extraction of soybeans and cream de-emulsification. *J Am Oil Chem Soc.* 85, 985 - 99.

[34] De Moura, J. M., Johnson, L. N. (2009). Two-Stage Countercurrent Enzyme-Assisted Aqueous

Extraction Processing of Oil and Protein from Soybeans. *Journal of the American Oil Chemists Society* 39.

[35] Latif, S. (2009). *Analytical investigations to compare the enzyme-assisted extraction of vegetable oils with conventional methods*. Thesis to partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in chemistry. Department of Chemistry and Biochemistry. Faculty of Sciences University of Agriculture. Faisalabad.

[36] Sosulski, K., Sosulski, R. W. & Coxworth, E. (1988). Carbohydrase hydrolysis of canola to enhance oil extraction with hexane. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 65, 357 - 361.

[37] Zúniga, M. E., Chamy, R. & Venegas, B. (Noviembre, 1991). *Preparados enzimáticos para su aplicación en la industria aceitera*. En 9° Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Santiago de Chile.

[38] Domínguez, H., Sineiro, J., Núñez, M. J. & Lema, J. M. (1996). Enzymatic treatment of sunflower kernels before oil extraction. *Food. Res.* 28, 537 - 545.

[39] Smith, D., Agrawal, Y. C., Sarkar, B. C. & Singh, B. R. N. (1993). Enzymatic hydrolysis pretreatment for mechanical expelling of soybeans. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 70, 885 - 890.

[40] Sineiro, J., Domínguez, H. & Núñez, M. J. (1998). Influencia del tratamiento enzimático en la calidad de aceites vegetales. *Grasas y Aceites* 49, 191 - 202.

[41] Domínguez, H., Núñez, M. J. & Lema, J. M. (1995a). Aqueous processing of sunflower kernels with enzymatic technology. *Food. Chem.* 53, 427 - 434.

[42] Domínguez, H., Núñez, M. J. & Lema, J. M. (1995b). Enzyme-assisted hexane extraction of soya bean oil. *Food. Chem.* 54, 223 - 231.

[43] Wright, J. D. (August, 1988). Ethanol from biomass by enzymatic hydrolysis. *Chemical Eng. Progress* 62 - 64.

[44] Mandels, M. & Sternberg D. (1976). Recent advances in cellulase technology. *Ferment Technol* 54, 267 - 286.

[45] Nieves, R. A., Ehrman, C. I., Adney, W. S., Elander, R. T. & Himmel, M. E. (1998). Technical communication: survey and analysis of commercial cellulase preparations suitable for biomass conversion to ethanol. *World J Microbiol Biotechnol* 14, 301 - 304.

[46] Galbe, M. & Zacchi, G. (2002). A review of the production of ethanol from softwood. *Appl. Microbiol. Biotechnol* 59, 618 - 628.

[47] Wang, Z. Shi, X. & Lin, L. (1994). Study of enzymatic process of simultaneously preparing soy oil and soy protein soy hydrolysate from full fat soy bean. *J WuXi Univ Light Ind.* 13, 179 - 191.